

**Bylgjubrotsmælingar vegna gangagerðar í  
Héðinsfirði og Skútudal**

**Karl Gunnarsson  
Sigurlaug Hjaltadóttir**

**Greinargerð KG-SH-2001/02**

## Bylgjubrotsmælingar vegna gangagerðar í Héðinsfirði og Skútudal.

Dagana 1.-6. júlí gerðu starfsmenn Rannsóknasviðs Orkustofnunar bylgjubrotsmælingar í Héðinsfirði og Skútudal í þeim tilgangi að finna þykkt lausra jarðefna þar sem fyrirhugað er að hafa mynni jarðganga á vegi milli Ólafsfjarðar og Siglufjarðar.

Í sömu ferð var mælt á Almenninum í Fljótum, á þeim slóðum þar sem jarðsig hefur aflagað veginn til Siglufjarðar, en frá því er greint í annarri greinargerð.

### Mælibúnaður og aðferðir

Við mælingar var notað ES-2401 tæki frá Geometrics. Rásir eru 24 og einn lóðréttur skjálftanemi tengdur hverri rás. Nemunum 24 er raðað á línu með 5 m millibili, og mynda mælilínur eða "lagnir" 115 m langar milli enda. Sprengiefni var notað sem uppspretta hljóðmerkis, yfirleitt um 100-150 g í hvert skot. Fyrir hleðslurnar voru grafnar um ½ m djúpar holur, eða sprengt í lækjarhyljum þar sem því var við komið. Við hverja lögn var sprengt í 5 til 8 stöðum, oftast í miðju, við báða enda og svo langt út frá endum sem þurfti til að fá brotna bylgju úr klöpp á allri línunni.

Skjálftamerkin eru skráð tölraent í 512 ms tíma með 0.5 ms söfnunarbili, og inngangssíuð á bandbili 35-500 Hz.

Mælingamenn voru Ingvar Þór Magnússon, Karl Gunnarsson, Sigurlaug Hjaltadóttir og Tinna Jökulsdóttir.

### Úrvinnsla

Notuð er svokölluð "Generalized Reciprocal Method", sem er útfærð með forritinu GREMIX frá Interpex Ltd. Aðferðin krefst þess að mæligögn gefi fullkomlega viðsnúna ferla fyrir komutíma brotnu bylgjunnar, sem í þessu tilviki er bylgjan sem berst eftir klöppinni neðan lausu jarðlaganna. Þannig er mögulegt að reikna töf bylgjunnar (tímalíð lausnarinnar) í efra laginu, þ.e. lausu jarðlögunum, á hverjum stað í sniðinu. Að auki fást upplýsingar um hljóðhraðann í klöppinni og breytileika hans. Næsta skref er að breyta töfinni í dýpi og til þess verður að fá mat á hraðann í efra laginu. Beina bylgjan út frá skotum gefur þær upplýsingar.

Í öllum tilfellum hefur verið látið nægja að túlka gögnin með tveggja laga líkani þar sem efra lagið samsvarar lausum jarðlögum en neðra lagið klöppinni. Í sumum tilfellum er ábending um að skipta mætti efra laginu í tvennt með hærri hraða undir, en gögnin reyndust almennt ekki næg til að gera trúverðugt líkan af því tagi. Fremur er reynt að taka tillit til slíkra ábendinga og aðlaga "meðalhraða" í efra laginu eftir því.

Niðurstöður fyrir hverja 115 m lögn eru gefnar á einni mynd sem samsett er af þrem línurítum. Efst eru mæligögnin sýnd, þ.e. fartímalínurit með mælingu á komutíma fyrstu bylgju í öllum nemum frá öllum skotum. Lárétti ásinn er fjarlægð eftir mælilínu eða lögn, þar sem 0 er í nema nr. 1 en síðasti nemi, nr. 24, er í fjarlægð 115m. Þar undir sýnir línurit reiknað dýpi á klöpp frá yfirborði, þ.e. þykkt lausu jarðlaganna í sniði. Neðsta línurítið sýnir tvo ferla sem gefa hljóðhraða í efra lagi og undirliggjandi klöpp (einatt hærri hraði).

Víðast tókst að fá fullkomna lausnir fyrir töf bylgjunnar í efra laginu eftir endilangri lögninni. Lárétt upplausn ræðst af bili á milli nema, sem er 5 m. Líkleg óvissa í töfinni er 1 millisekúnda af stærðargráðu, sem samsvarar u.þ.b. einum metra í dýpi á klöpp. Álíka eða meiri óvissa felst í mati á hljóðhraða efra lagsins. Urðar- eða skriðulagið sem er einkennandi fyrir þessar hlíðar er gróft og laust í sér og mis-vatnsmettað. Þetta veldur því að hljóðhraði er

lágur og breytilegur. Þá er þess einnig að gæta að lög þessi eru tiltölulega þunn, oft af stærðargráðu nemabilsins, og beina bylgjan kemur því einungis fram sem fyrsta bylgja á litlu bili næst skoti. Þetta leiðir til lítillar upplausnar á hraðamælingu efra lagsins þar sem fáir punktar skilgreina ferilinn. Aukin upplausn og nákvæmni myndi krefjast þéttara nemabils og fleiri skota, þ.e. umfangsmeiri og seinlegri mælinga. Þess ber þó að geta að skynsamleg áætlun mögulegs hraðabils kemur í veg fyrir stórkostlegar skekkjur.

### Héðinsfjörður

Í Héðinsfirði voru mældar alls mældar 8 lagnir, dagana 3. og 4. júlí. Að austanverðu voru mældar þrjár lagnir eftir veglínu á því bili sem vegskáli og munnur eiga að vera, og ein lögn þvert á línuna. Að vestanverðu var gerð hliðstæð mæling, en með einni lögn eftir veglínu og einni þversum. Þá var ein lögn á vesturbakka Héðinsfjarðarar þar sem fyrirhugað brúarstæði verður.

Þar sem fjörðurinn er úr vegasambandi voru flutningar þar erfiðir og bera þurfti allan útbúnað á bakinu. Því þótti nauðsynlegt að hafa fjóra menn í flokki, en annars nægir oftast að hafa 2-3 menn.

Staðsetningar voru byggðar á stikum í fyrirhugaðri veglínu sem lagðar voru út fyrri daginn af mælingamönnum á vegum Vegagerðarinnar. Stikurnar voru settar niður með 20 m millibili og merktar með lengdarhnitum í metrum. Hnit þeirra fara vaxandi austur yfir dalinn.

### Austurhluti

Á mælisvæðinu í austurhlíð dalsins voru mældar 4 lagnir, þrjár eftir veglínu upp í hlíðina og ein þvert á með hlíðinni, svo sem sjá má á staðsetningakorti á 1. mynd. Sniðin má sjá á myndum 2a-2d.

**HAU1:** Neðst af lögnunum eftir veglínunni og nær yfir veglínuhnit 6743-6857. Dýpi er 5 m í neðri enda en um 15 m í efri enda. Það er mögulegt að dýpið sé heldur vanmetið í neðri endanum. Þar mælist hraði í yfirborðslagi mun lægri, enda mýrlent, og ef þar er falið lag undir með hærri hraða myndi dýpi mælast meira.

**HAU2:** Í framhaldi af HAU1 upp hlíðina og nær yfir veglínuhnit 6863-6976. Ætla má að dýpi sé um 7 m í neðri endanum (punkturinn í 0-fjarlægð er vafasamur). Þetta er mun grynna en aðliggjandi endi HAU1, en þar sem lagnirnar skarast ekki má ætla að dýpi breytist raunverulega ört á milli endanna. Dýpi er enn minna í efri helmingi lagnarinnar, 3-4m.

**HAU3:** Liggur þvert á lögn HAU2 og miðjur lagnanna skerast. Fjarlægð fer vaxandi inn hlíðina, til suðurs. Dýpi í skurðpunktinum er 4-5m, sem er í samræmi við HAU2.

**HAU4:** Heldur áfram upp hlíðina í framhaldi af HAU2. Neðri endi er við veglínuhnit 6878. Liggur eftir lækjarrás sem er nokkrum metrum innan við veglínu. Þykk lausu jarðefnanna er á bilinu 5 til 7,5 m.

### Vesturhluti

Í vesturhlíð dalsins voru teknar 2 lagnir. HVE1 liggur eftir veglínunni, og tekur hún yfir lengd fyrirhugaðs vegskála, en HVE2 gengur þar þvert á (sjá kort á 3. mynd).

**HVE1:** Vaxandi lengdarhnit upp hlíð. Nemi 1 er við veglínuhnit 6137, nemi 24 við hnit 6023. Dýpi er 2-3 m í neðri enda lagnar en um 1 m í miðri línu. Ofan miðju er um 20 m breið lægð þar sem dýpi er um 7-8m, en 2-3m á efri enda.

**HVE2:** Gengur inn með hlíð með vaxandi lengdarhnit til suðurs. Miðjur HVE1 og HVE2 skerast í veglínu í hnitum 6080. Innan við veglínu er dæld í beggrunni svipuð og sést á lögn HVE1. Ef þetta er sama gilið, liggur það á ská niður og inn eftir hlíðinni. Dýpi í skurðlínu lagnanna er 2m, nokkru dýpra en á HVE1, en það skýrist af því að hraði í yfirborðslagi mælist

2001-12-12

KG/SH-02/2001

hér hærrí. Erfítt er að mæla hraða í svo þunnu lagi, og er þetta til marks um þessa óvissu. Dýpi er um 5 m til beggja enda á línunni.

### Brúarstæði

Ein mæling var tekin við áætlað brúarstæði þar sem veglína liggur yfir Héðinsfjarðará. Lögnin er á vesturbakka árinna og liggur nær hornrétt á veglínu. Lengdarhnit hennar fara vaxandi til suðurs, og hún sker veglínu í fjarlægð 33 m (þ.e. 33 m frá norðurenda) í veghnitum 6276 m (sá staðsetningakort á 5. mynd).

Gögnin reynast vera nokkuð flókin en beinast liggur við að túlka þau sem tvö meginlög, yfirborðslag með hraða um 1700 m/s yfir klöpp með hraða tæplega 5000 m/s. Mjög misdjúpt er á klöpp, um 15 m dýpi við suðurenda lagnarinnar en þaðan dýpkar til norðurs og nær allt að 50 m dýpi, en grýnnist aftur í norðurenda í 30m dýpi, eins og sjá má á sniðinu á 6. mynd .

Það sem gerir gögnin einkum sérkennileg er viðbragð yfirborðslagsins við sprengingunum. Einkennileg standandi sveifla kemur í yfirborðslagið, einkanlega á norðurhluta lagnarinnar, og fundu mælingamenn þarna reyndar sérlega mikið fyrir dynknum undir fótum sér. Á 7. mynd má sjá dæmi um frumgögn, skráningu á sprengingunni við norðurenda lagnarinnar. Beina byljian ferðast þarna í yfirborðslaginu með hraða um 1800 m/s og gefur mikla sveiflu. Við enda bilsins, nærri 9. nema, deyr byljian skyndilega út, og þá birtist síðari bylgyfasi sem kemur úr neðra lagi. Vænlegast virðist að skýra þetta þannig, að þarna sé tiltölulega stíft yfirborðslag með dúandi efni undir með heldur lægri hraða. Það gæti styrkt þessa túlkun að aflöng malareyri gengur þarna niður með ánni, en kíll er vestan við hana. Mætti túlka þetta þannig að malarbunki hafi hlaðist ofan á mýrarjarðveg.

Þessi skilyrði gætu bent til þess að hljóðhraði lækki undir efsta malarlaginu, og ef svo er hefur meðalhraði í yfirborðslaginu niður að klöpp verið ofmetinn og dýpi á klöpp þar með einnig ofmetið. Þess vegna verður að hafa í huga að dýpi á klöpp undir veglínu gæti verið minna, en gíska má á að það sé ólíklega minna en 30 m.

Hér er viss óvissa til staðar, og betra hefði að hafa fleiri lagnir á staðnum. Hins vegar er þessi niðurstaða ekki ólíkleg ef borið er saman við niðurstöður borana. Í brekkufæti suðvestan við lögnina er 11 m dýpi, og nærri norðurenda lagnarinnar er dýpið óvíst, en meira en 15 m.

### Skútudalur

Í Skútudal voru alls mældar 4 lagnir á stæði gangnamunna og vegskála, sjá staðsetningakort á 8. mynd. Uppsetning og framkvæmd mælinga var að öllu leyti hliðstæð því sem gert var í Héðinsfirði. Mælingarnar eru túlkaðar sem tvö lög. Efra lagið er úr lausum jarðlögum og er á bilinu 600-1100 m/s, víðast tæplega 1000 m/s og lægsti hraðinn neðarlega á lögn SKU1 þar sem mýrlendara er. Neðra lagið er klöpp úr basalhrauni, rúmlega 4000 m/s. Dýpi á klöpp reynist vera á bili 0-10m, líkt og sjá má af niðurstöðum borana, sem eru lítil eitt utan við mælingalínurnar

Lausnir fyrir lagnirnar SKU1 til 4 eru sýndar á myndum 9a-9d.

Tvær lagnir, SKU1 og SKU2, voru lagðar í röð upp eftir veglínu í stefnu vaxandi veglínuhnita. Af afstöðu endanna við hæla reynast þær vera 113 og 112 m langar og því þarf að kvarða lítilliga lengd eftir lögninni.

Aðrar tvær lagnir voru mældar skáhallt á veglínu, SKU3 innar og SKU4 utar, eins og sýnt er á staðsetningakorti. Þessum þverlínunum var valinn staður í geilum og lækjarfarvegum upp eftir hliðinni, fremur en að leggja þær hornrétt á veglínu, í þeim tilgangi að fá áreiðanlegri mælingu. Reynslan er sú að í slíkum rásum er jarðvegslagið þynnra og jafnara að gerð og vatnsmettun, og því einsleitara. Mæling á hljóðhraða í yfirborðslaginu verður öruggari og þar með ákvörðun dýpis. Skriðbungurnar á milli farveganna eru þurrari, sýna því breytilegan hljóðhraða og líkanið verður flóknara. Í farvegunum er einnig betra að finna góða

2001-12-12

KG/SH-02/2001

sprengistaði. Ef gera má ráð fyrir að yfirborðslandslag í skriðunni dragi ekki dóm af landslagi klapparinnar, má brúa hæð berggrunns milli línanna.

**SKU1:** Nær yfir veglínubil 2248m (n1) – 2361m (n24), og lengdarhnit vaxa með hnitum veglínu

Dýpi á klöpp er 2-3 m í neðri enda lagnar en 7.5 m í efri enda. Mest verður dýpi um 10 m (55m lengdarhnit). Á móts við borholu SL-14, sem er 6 m ofan við línuna móts við lengdarhnit 93, er bordýpi á fast er gefið sem tæpir 5 m. Þar mælist dýpi 7 m á bylgjubrotslínunni.

**SKU2:** Bil 2360m (n1) - 2472m (n24).

Dýpi er á bilinu 3-7 m.

**SKU3:** Í nema 9 (40m) sker þessi lögn SKU2 í lengd 31m, þ.e. í veglínuhnitum 2391. Vaxandi fjarlægð upp hlíð.

Dýpi er á bilinu 0-8 m, og jarðvegurinn þynnist út í svo til ekki neitt í efri enda lagnarinnar. Í skurði lagnana mælist 4,5 m þykkt í þessari lögn en 3,5 m í SKU2.

**SKU4:** Við nema 2 (5m lengd) sker þessi lögn SKU1 á veglínu í 79 m við í hnitum 2316. Vaxandi fjarlægð upp hlíðina.

Dýpi er á bilinu 0-8m og jarðvegslagið þynnist úr upp eftir hlíðinni líkt og í SKU3. Í skurði lagna SKU4 og SKU1 mælist dýpi um 6m í báðum.

Borhola SL-15 er á móts við stað 60m á SKU4. Þar mælist um 5m dýpi, en nær 3 metrum meira í borholunni. Þótt þetta misræmi sé ekki uppörvandi, skal á það bent að á þessum slóðum þynnist lagið ört, svo að búast má við breytileika.

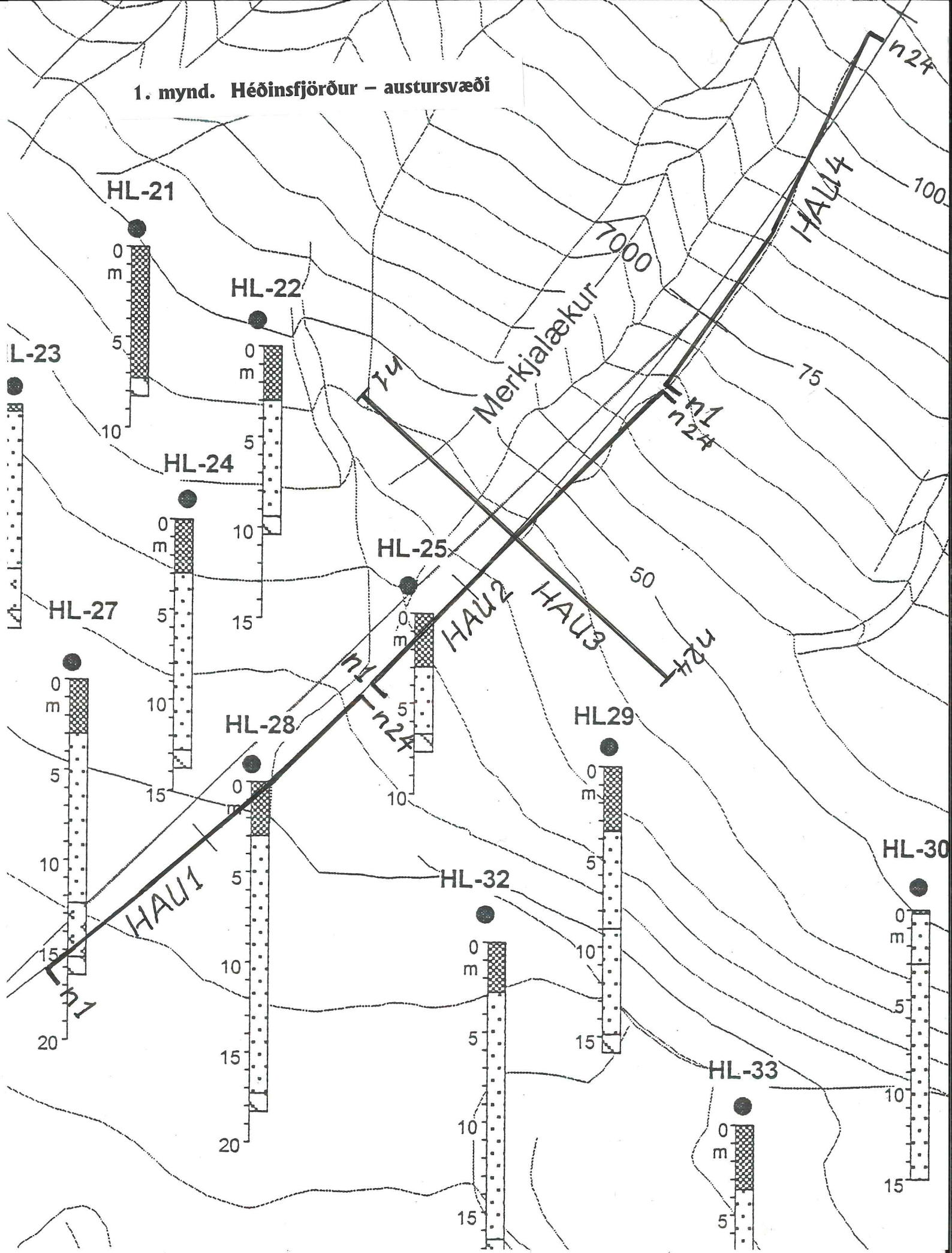
### Hugleiðing

Viðfangsefni þessaa mælinga er að vissu leyti frábrugðið því sem ROS hefur áður fengist við á þessu sviði á síðari árum. Það felst einkum í því að lausu jarðlögin eru tiltölulega þunn og með lágan og breytilegan hljóðhraða. Einnig er tiltölulega erfitt að fá fram góð merki með sprengingu á yfirborði í þurru lausu efni. Samt sem áður hafa þokalega ábyggilegar mælingar fengist, og greinilegt er að beita má bylgjubrotsaðferðinni við þessi skilyrði ef framkvæmd er nákvæm og vönduð.

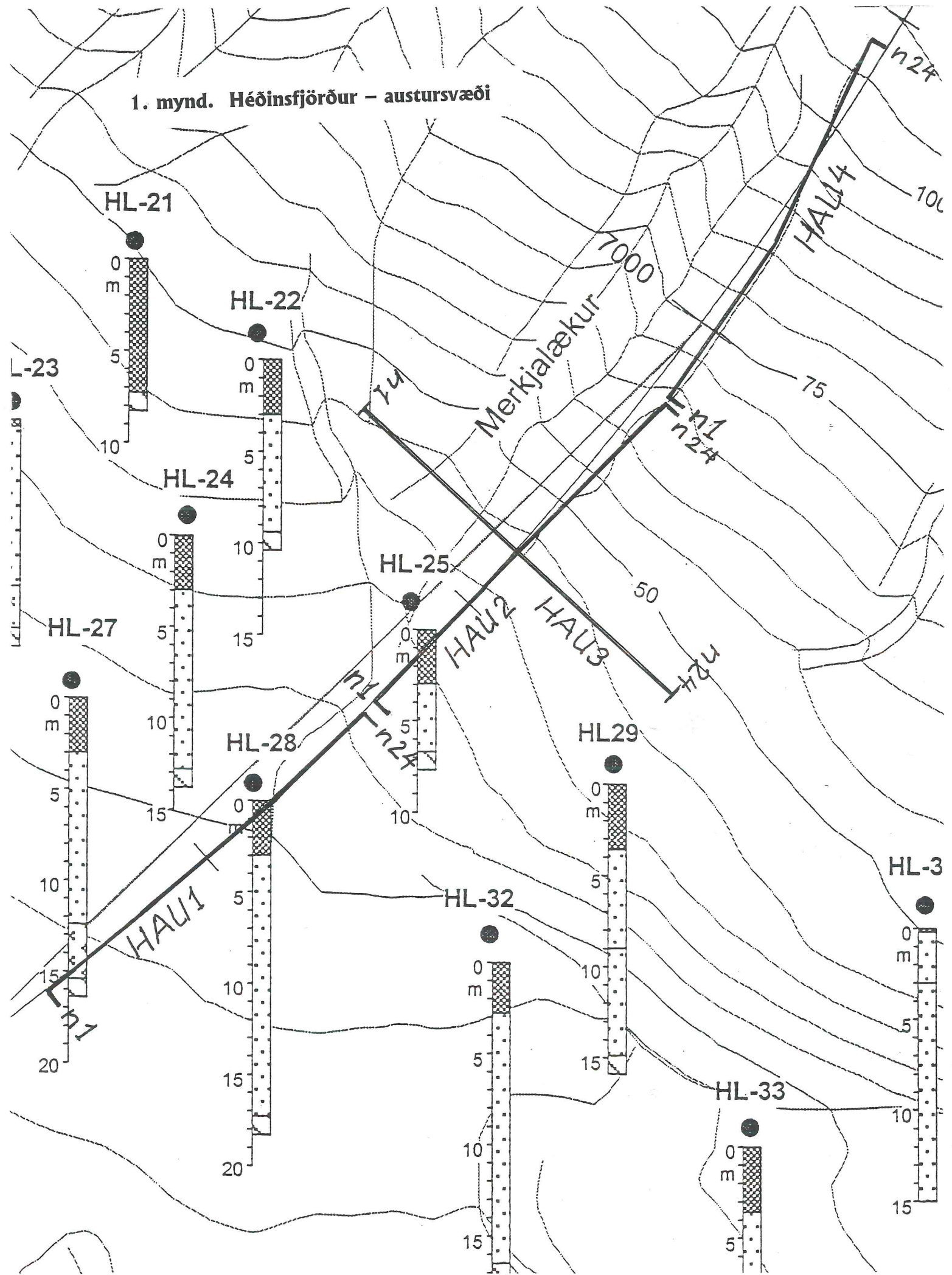
Ýmislegt kom í ljós sem betur mætti fara, og eftir á að hyggja má draga þann lærdóm af þessum mælingum að kanna verður hraða efra lags í meiri smáariðum, ef mæla á nákvæmlega þykkt á svo þunnum og breytilegum lögum. Nauðsynlegt er að hafa sprengistaði og sprengitíma sérstaklega nákvæma og fjölga smáskotum í þeim tilgangi að auka upplýsingar um hljóðhraða í yfirborðslagi og jafnvel að leggja nema með styttra millibili. Þótt vinna við mælingar aukist við þetta, gæti það unnist upp vegna færri óvissuatriða í úrvinnslu.

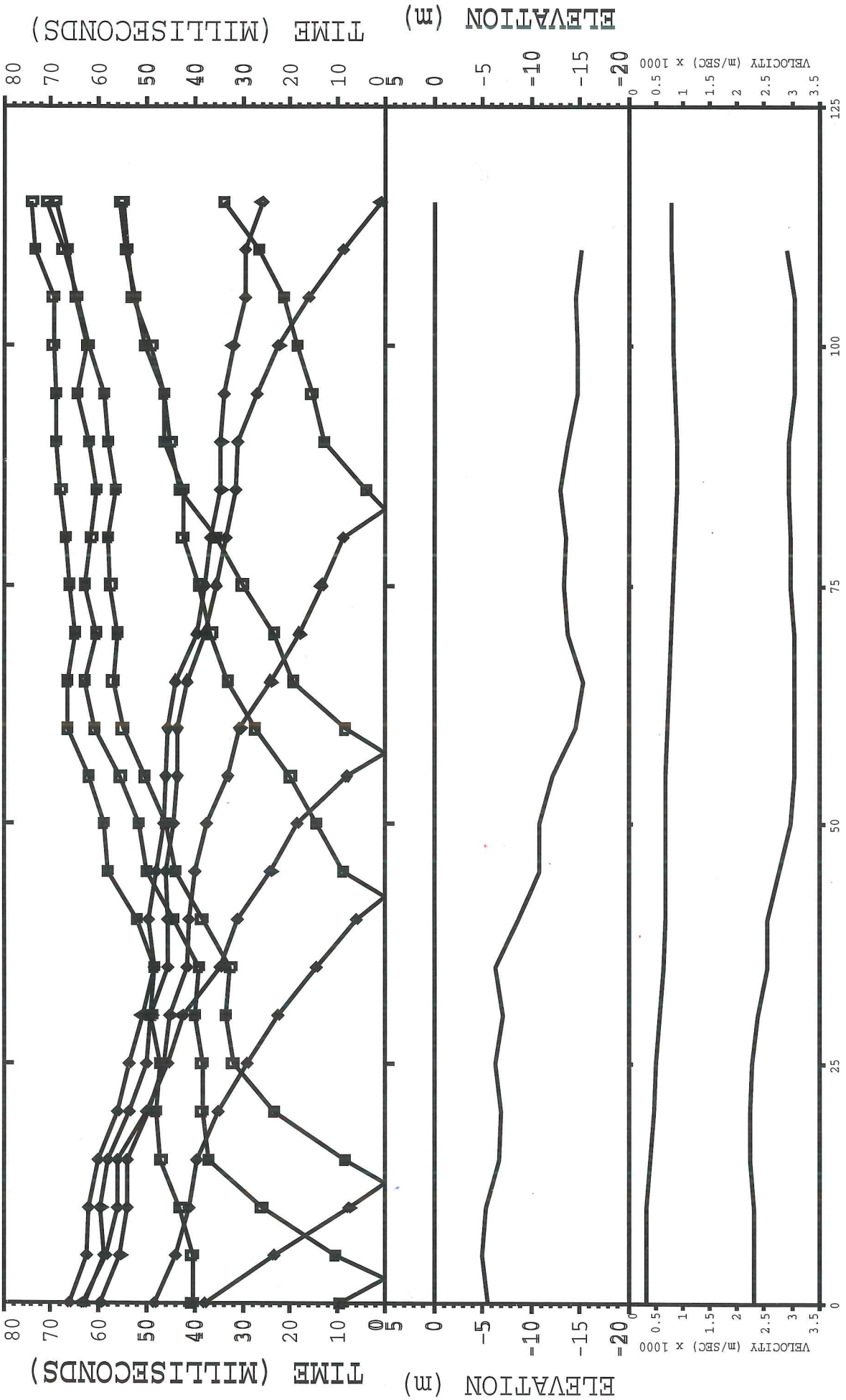
Þá mætti kvarða meðalhraða í yfirborðslagi með því að reka borholur niður á klöpp á völdum stöðum á mælinunum. Líklega væru það góð vinnubrögð, bæði vegna upplýsingagildis og frá sjónamiði umhverfisverndar, að gera fyrst bylgjubrotsmælingar. Fyrst vítt og dreift til að finna álitlega staði en síðar með meiri þéttleika á völdum stöðum. Æskilegt væri að bráðabirgðaúrvinnsla fari fram í feltinu jafn óðum og mælt er. Þannig mætti strax aðlaga mæliaðferð að aðstæðum og ganga úr skugga um vafaatriði. Að lokum, eða jafnframt, væru gerðar markvissar boranir til að kanna álitlegustu staðina og til að staðreyna eða kvarða niðurstöður bylgjubrotsmælinganna.

1. mynd. Hédinsfjörður – austursvæði



1. mynd. Héðinsfjörður – austursvæði

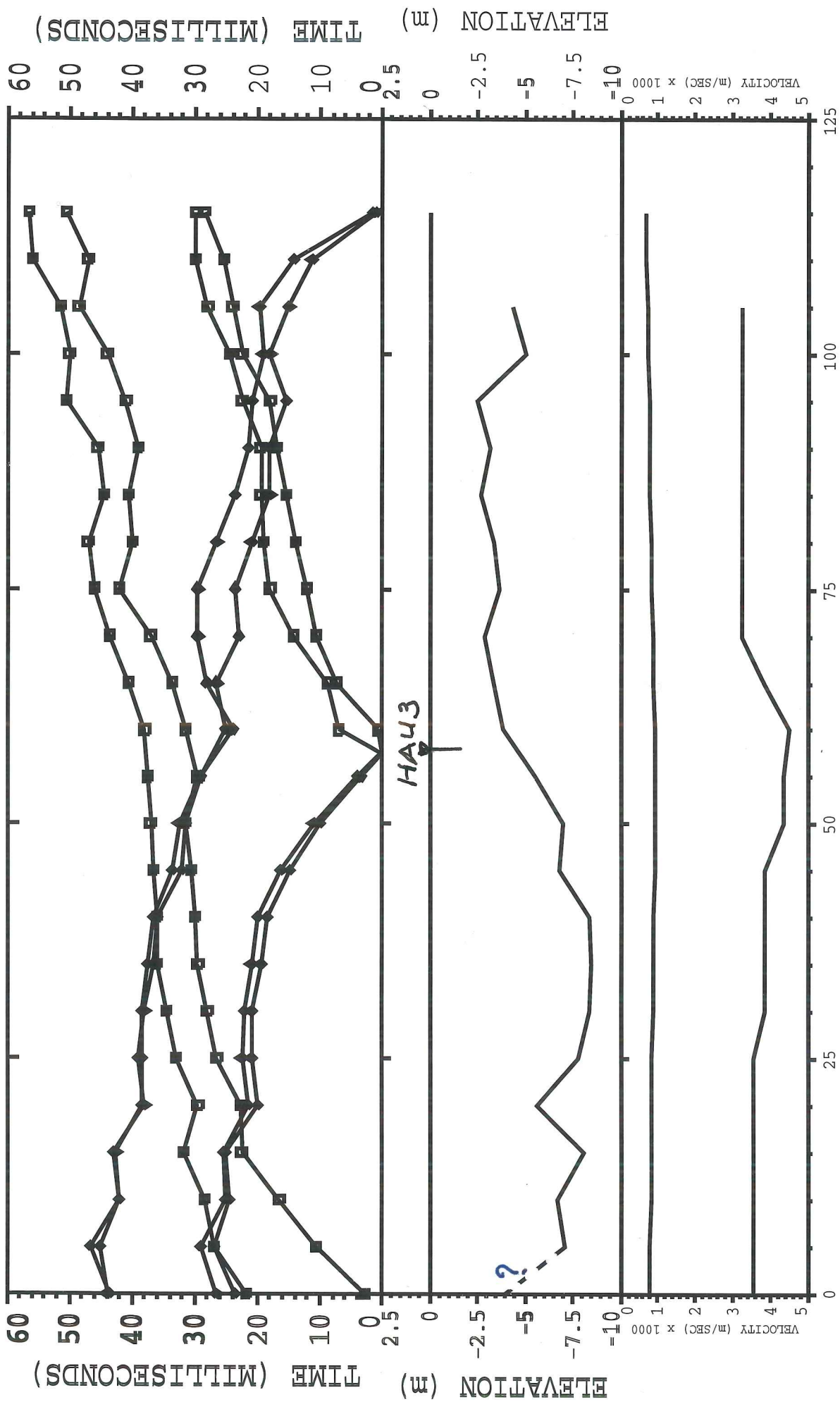




for: Vegagerdin		Hedinsfjordur-East	
by: ORKUSTOFNUN			
Data Set: HAU1	Date: 03.07.2001		
Equipment: EGS 2401	Spread: 1	Azimuth:	

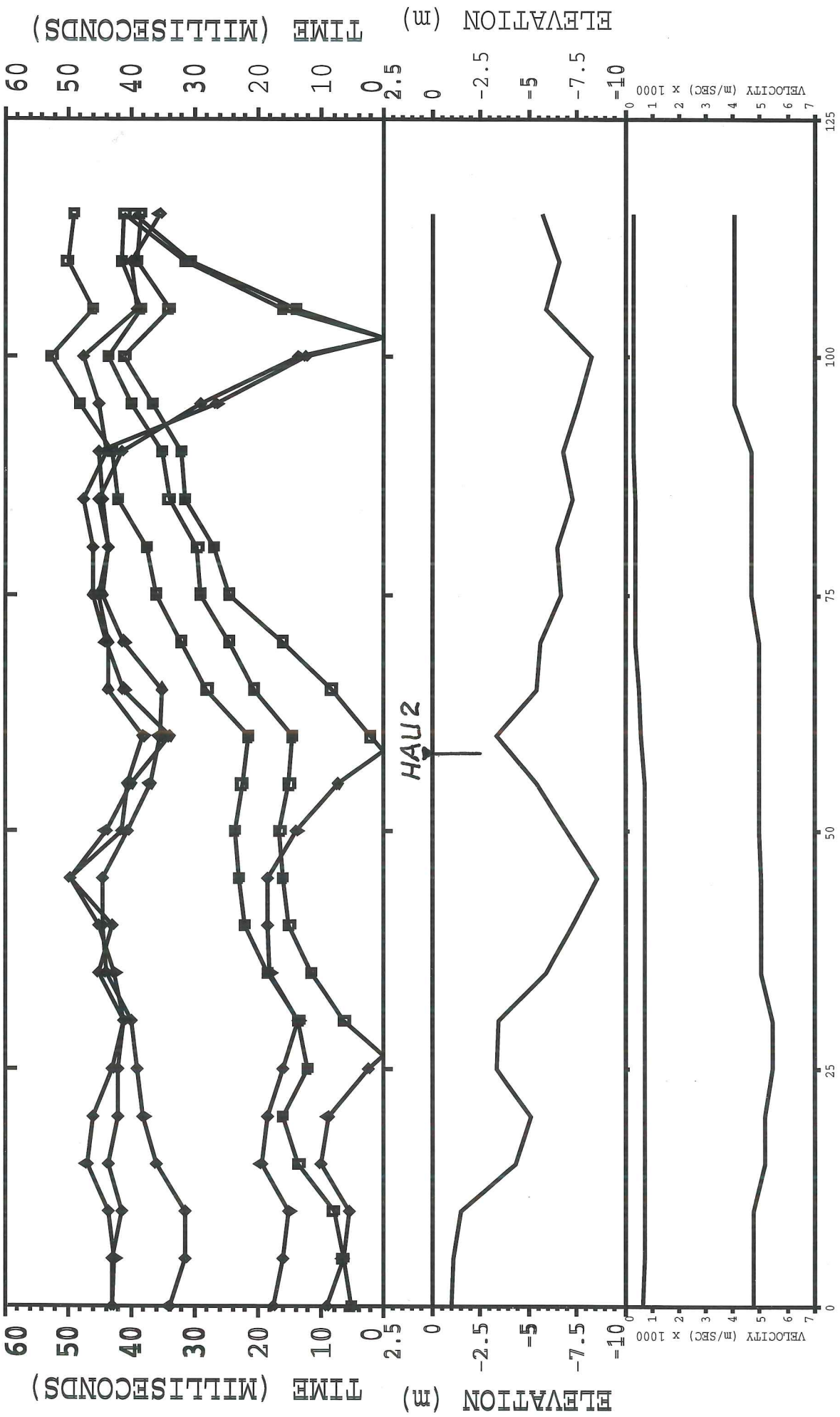
Mynd 2a





for: Vegagerdin		Hedinsfjordur-East	
by: ORKUSTOFNUN			
Data Set: HAU2	Date: 03.07.2001		
Equipment: BGG 2401	Spread: 2	Azimuth:	

Mynd 2b



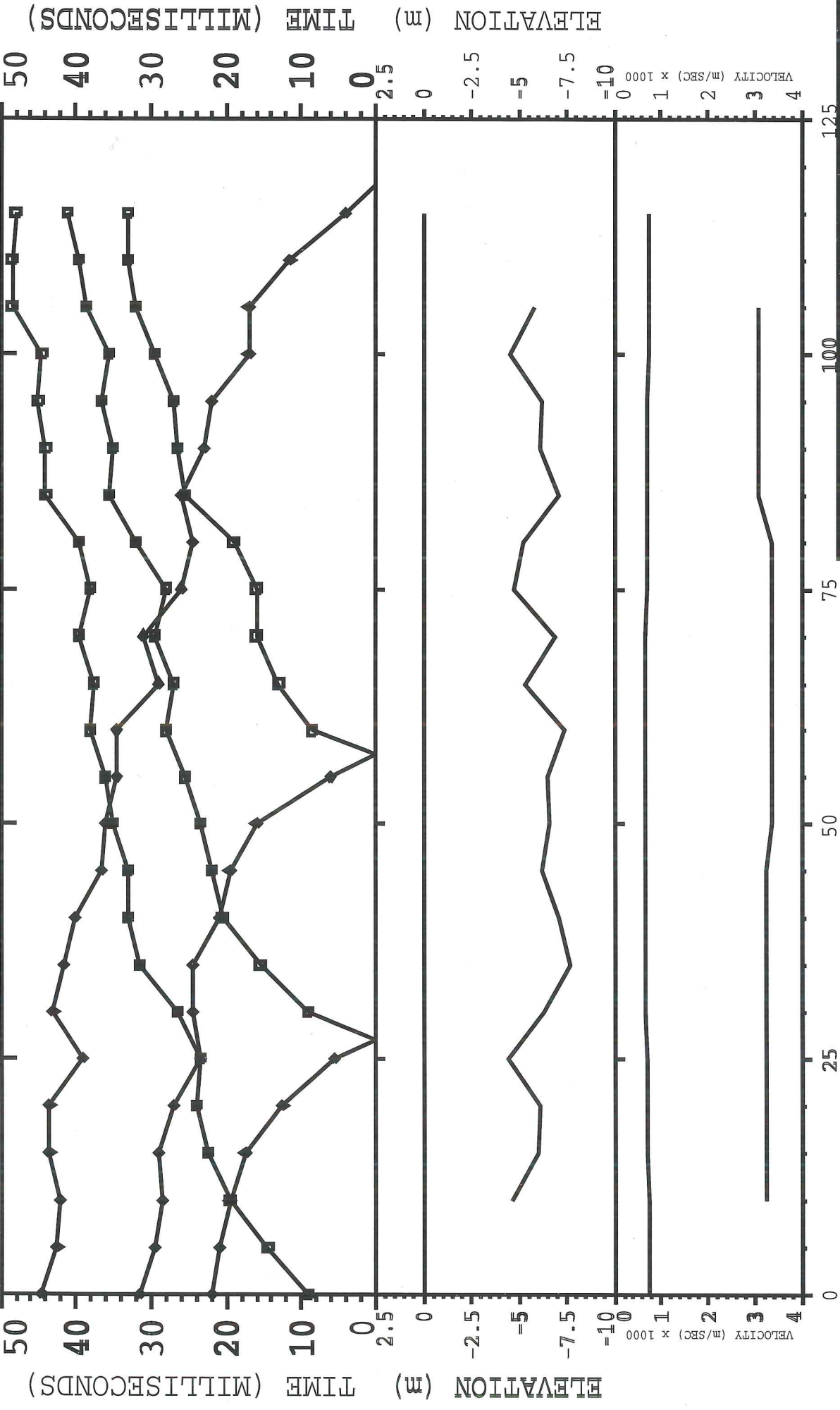
for: Vegagerdin  
 by: ORKUSTOFNUN  
 Data Set: HAU3 Date: 03.07.2001  
 Equipment: BGG 2401 Spread: 3

DISTANCE (m)

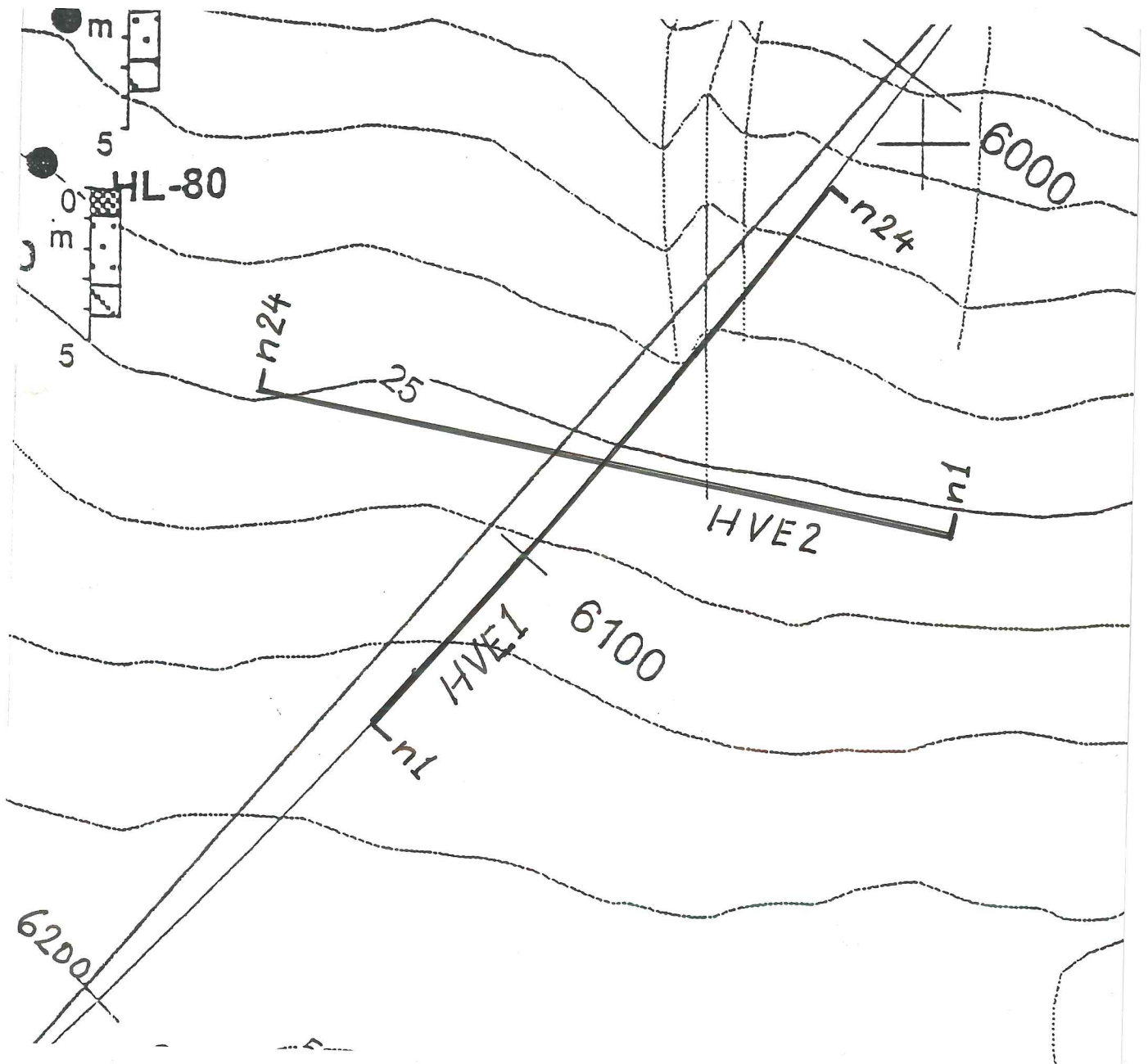
Hedinsfjordur-East

Azimuth:

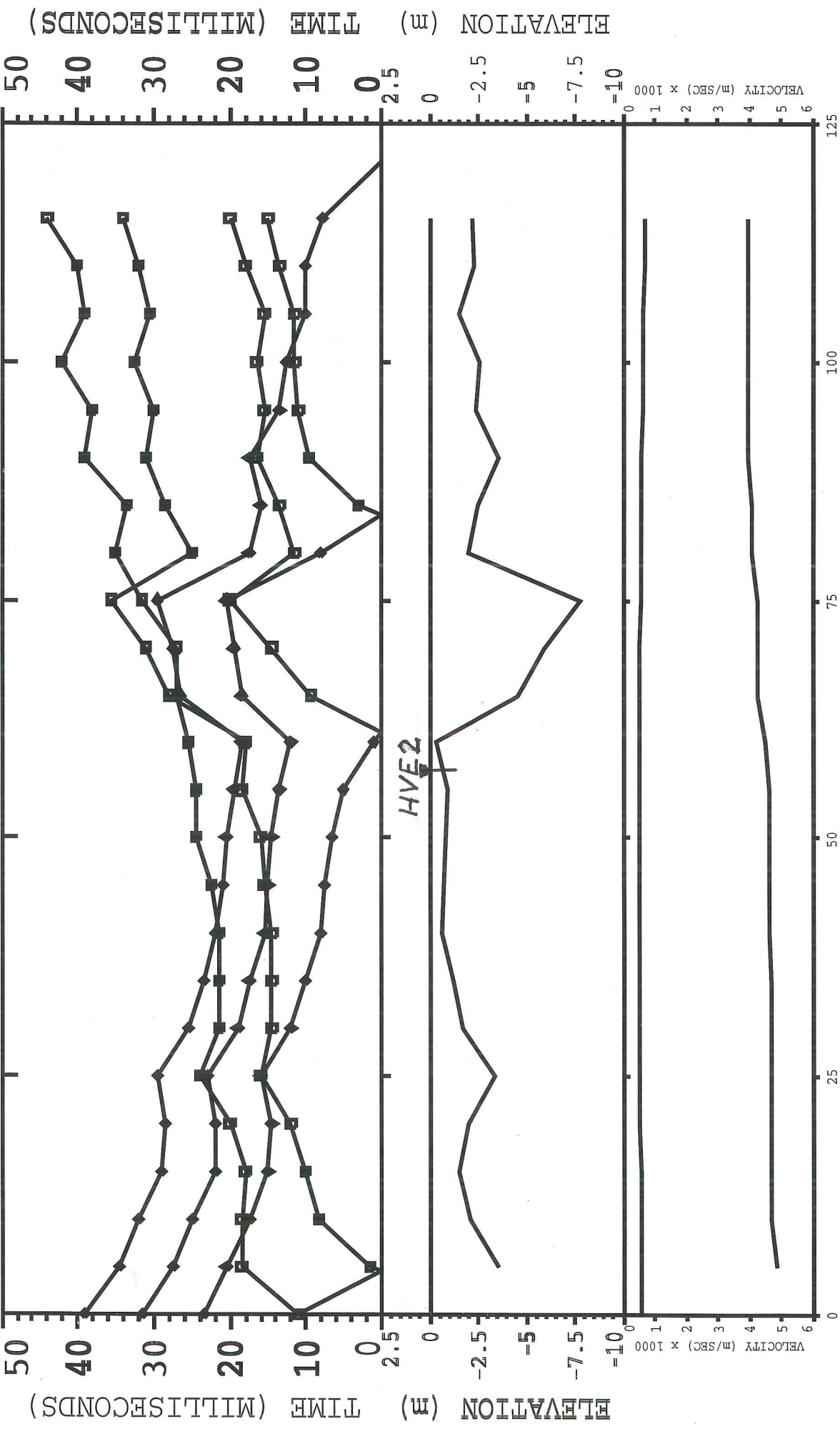
Mynd 2d



for: Vegagerdin		Hedinsfjordur-East	
by: ORKUSTOFNUN			
Data Set: HAU4	Date: 04.07.2001		
Equipment: EGG 2401	Spread: 4	Azimuth:	

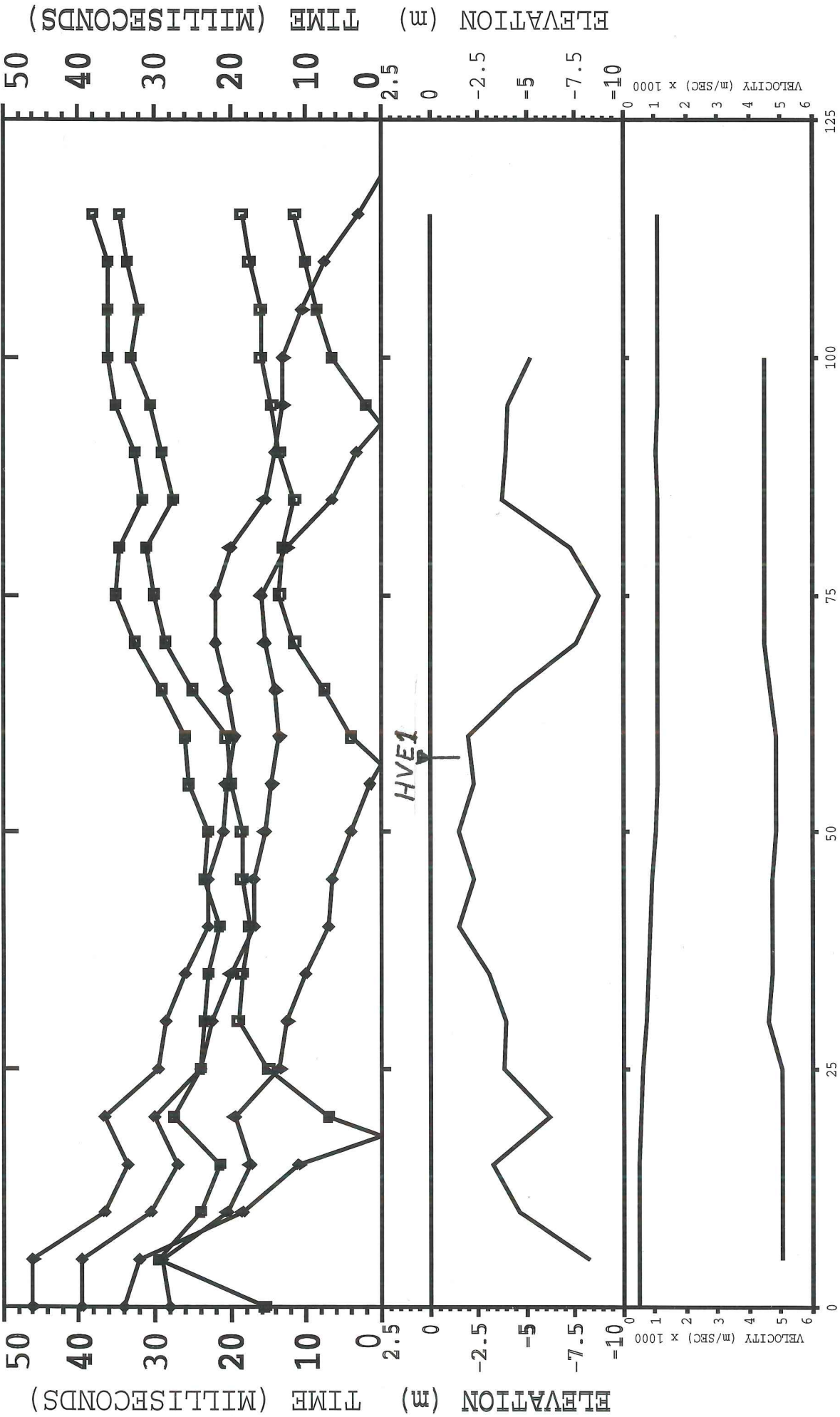


3. mynd. Héðinsfjörður – vestursvæði



for: Vegagerdin		Hedinsfjordur-West	
by: ORKUSTOFNUN			
Data Set: HVE1	Date: 04.07.2001		
Equipment: BGG 2401	Spread: 1	Azimuth:	

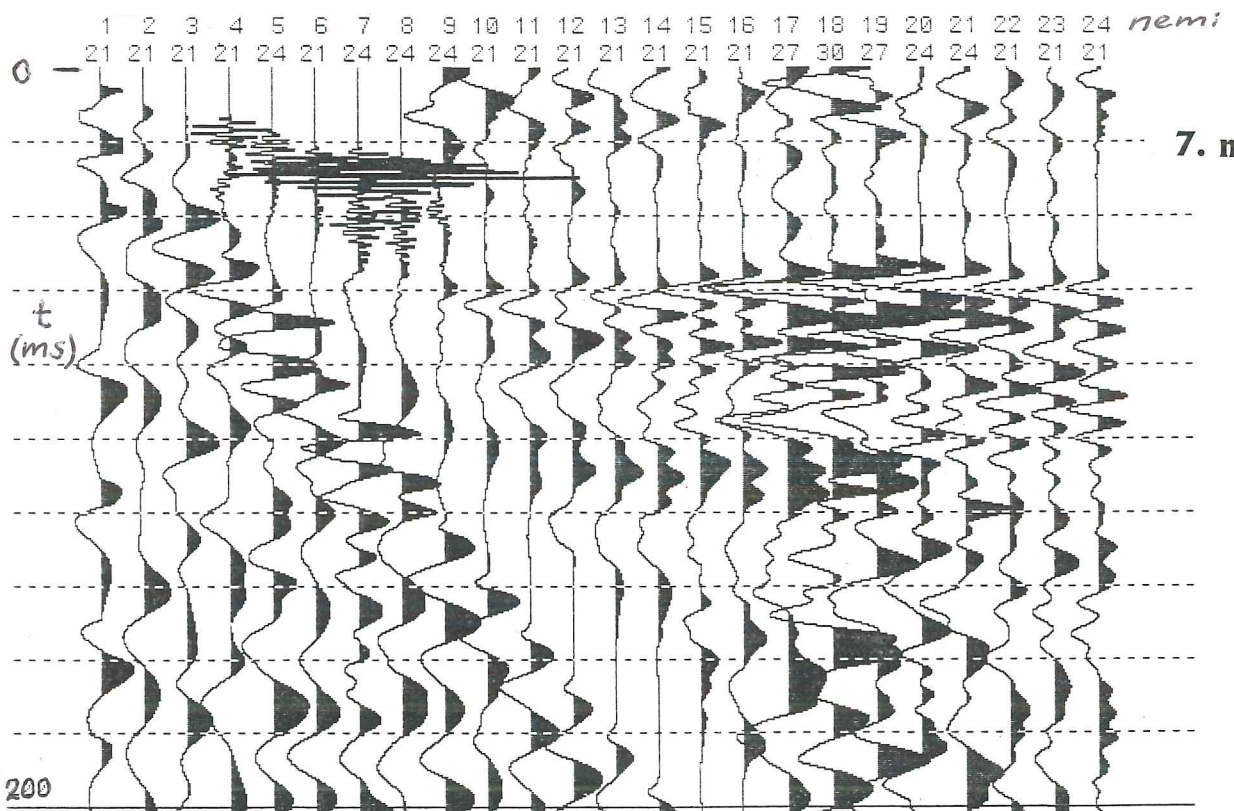
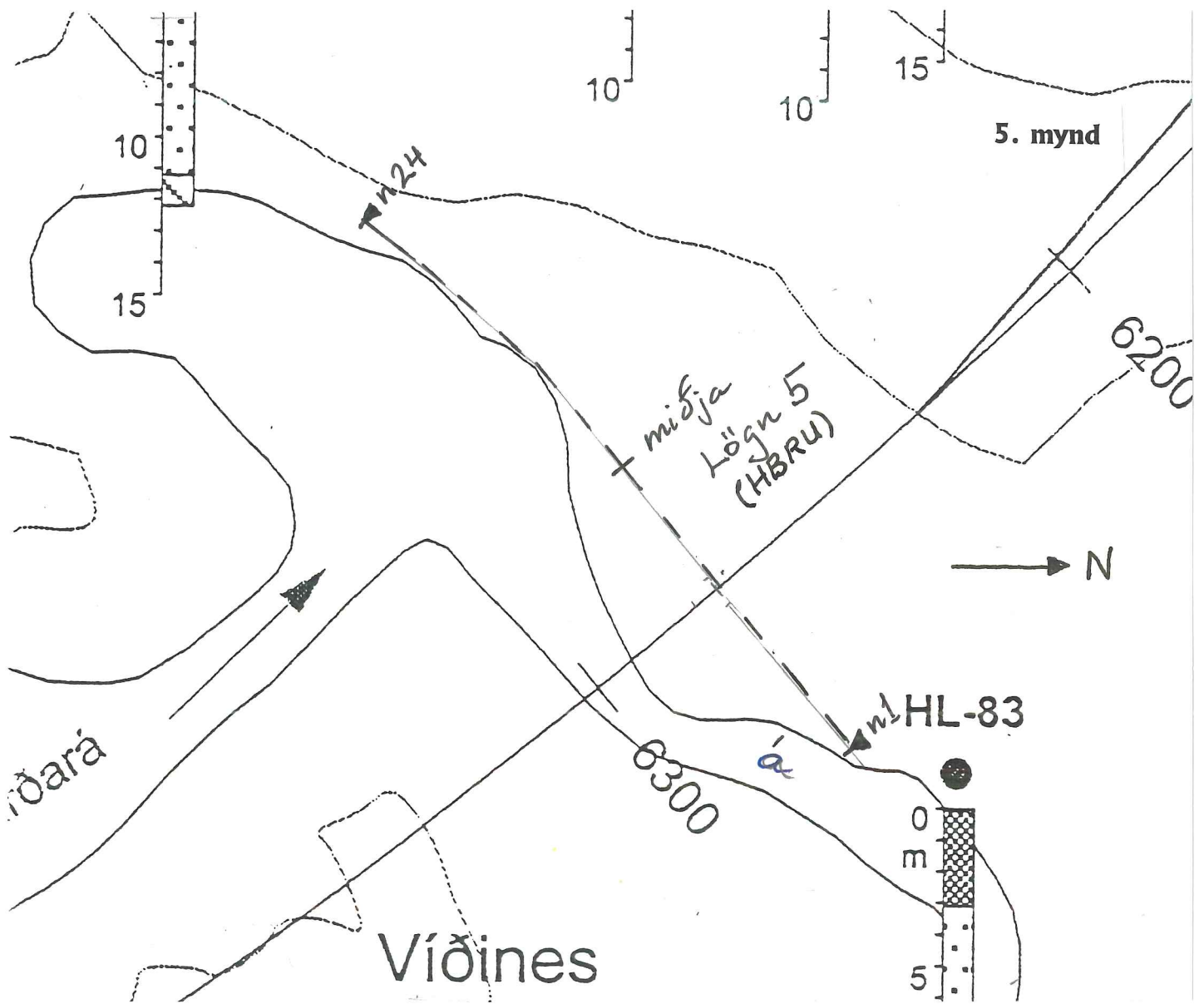
Mynd 4a

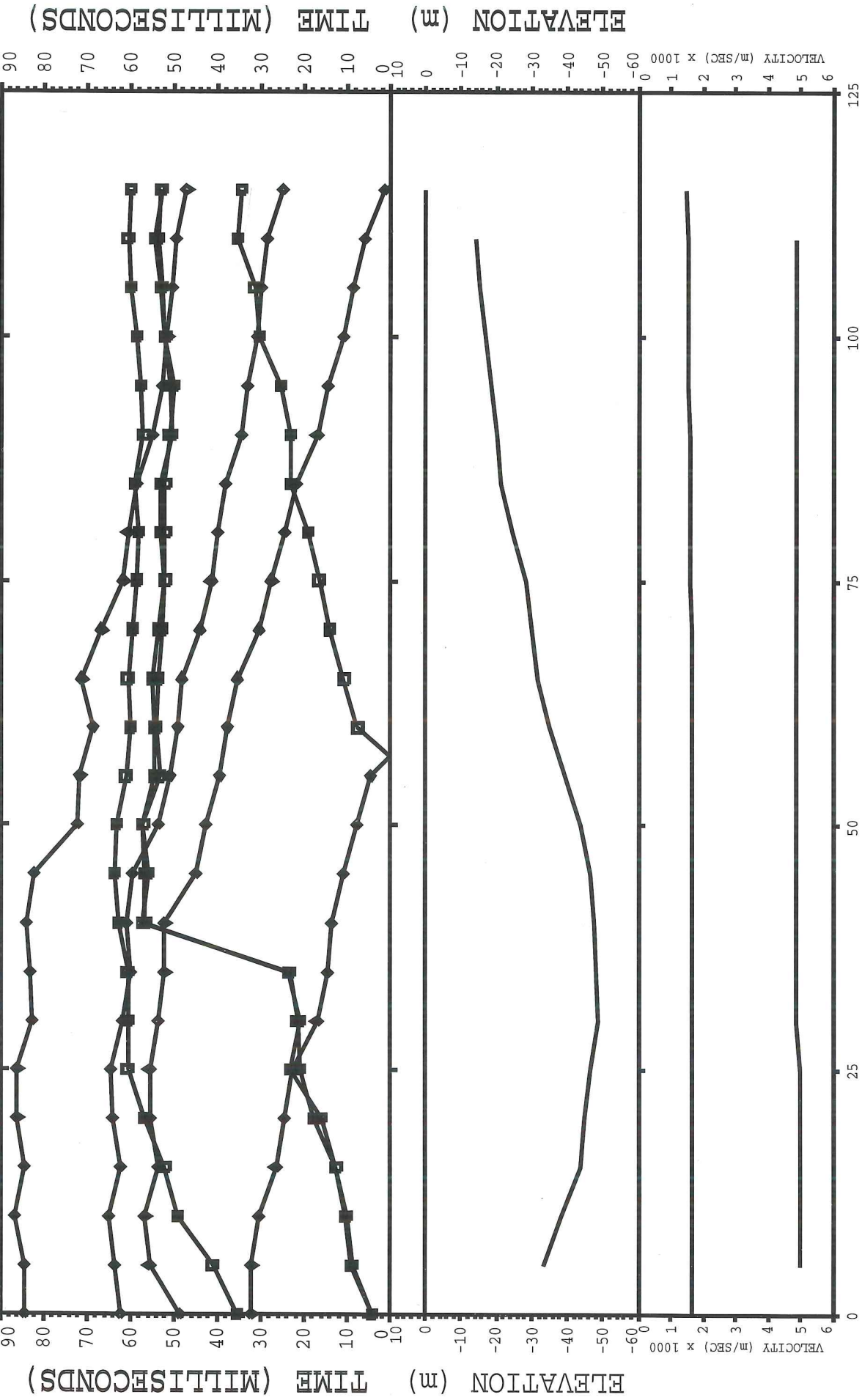


for: Vegagerdin		Hedinsfjordur-West	
by: ORKUSTOFNUN			
Data Set: HVE2	Date: 04.07.2001		
Equipment: EGG 2401	Spread: 2	Azimuth:	

DISTANCE (m)

Mynd 4b



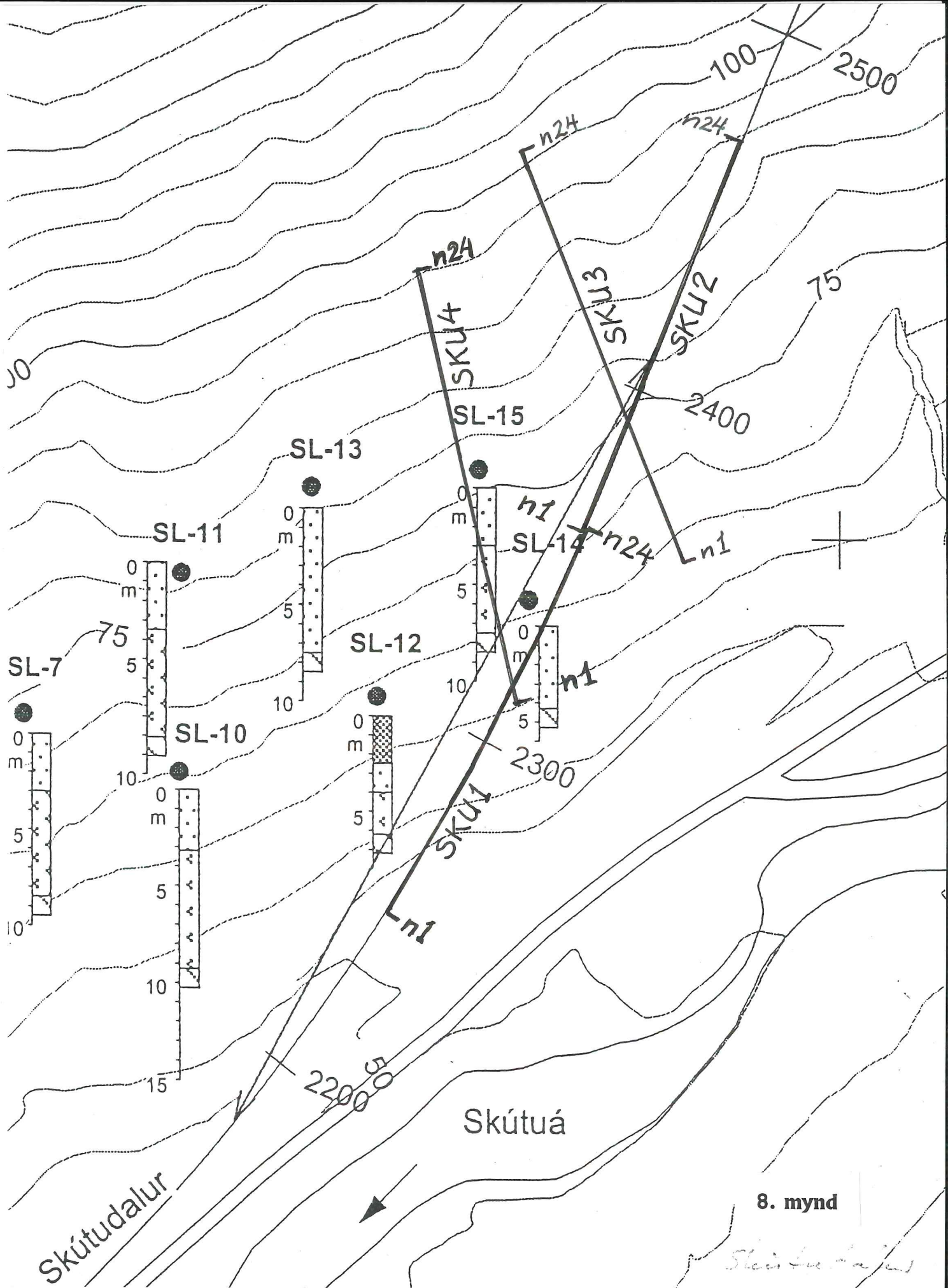


6. mynd

DISTANCE (m)

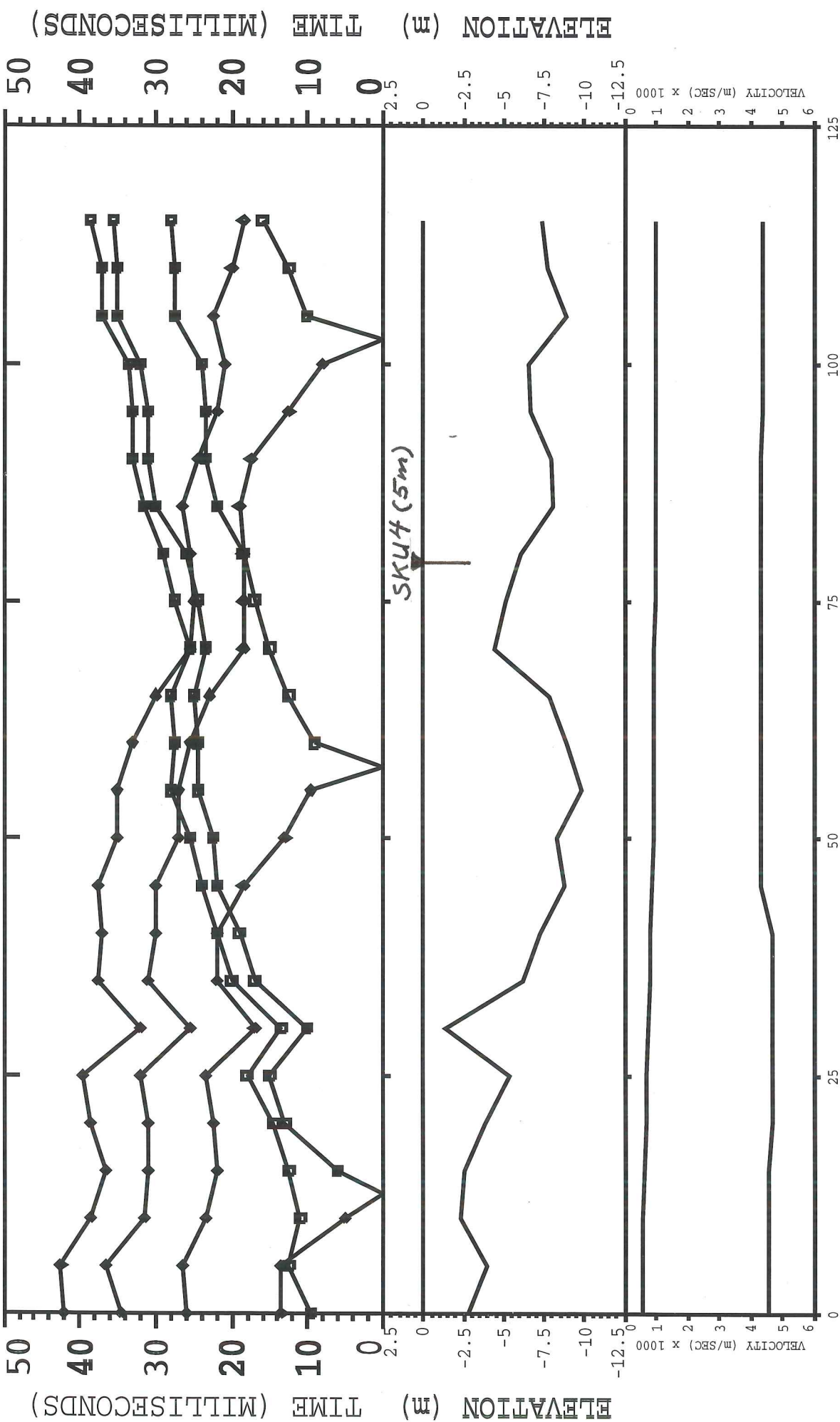
for: Vegagerdin		Hedinsfjordur-bridge	
by: ORKUSTOFNUN			
Data Set: HBRU	Date: 03.07.2001		
Equipment: BGG 2401	Spread: 1	Azimuth:	





8. mynd

*Stein Lúðvík*



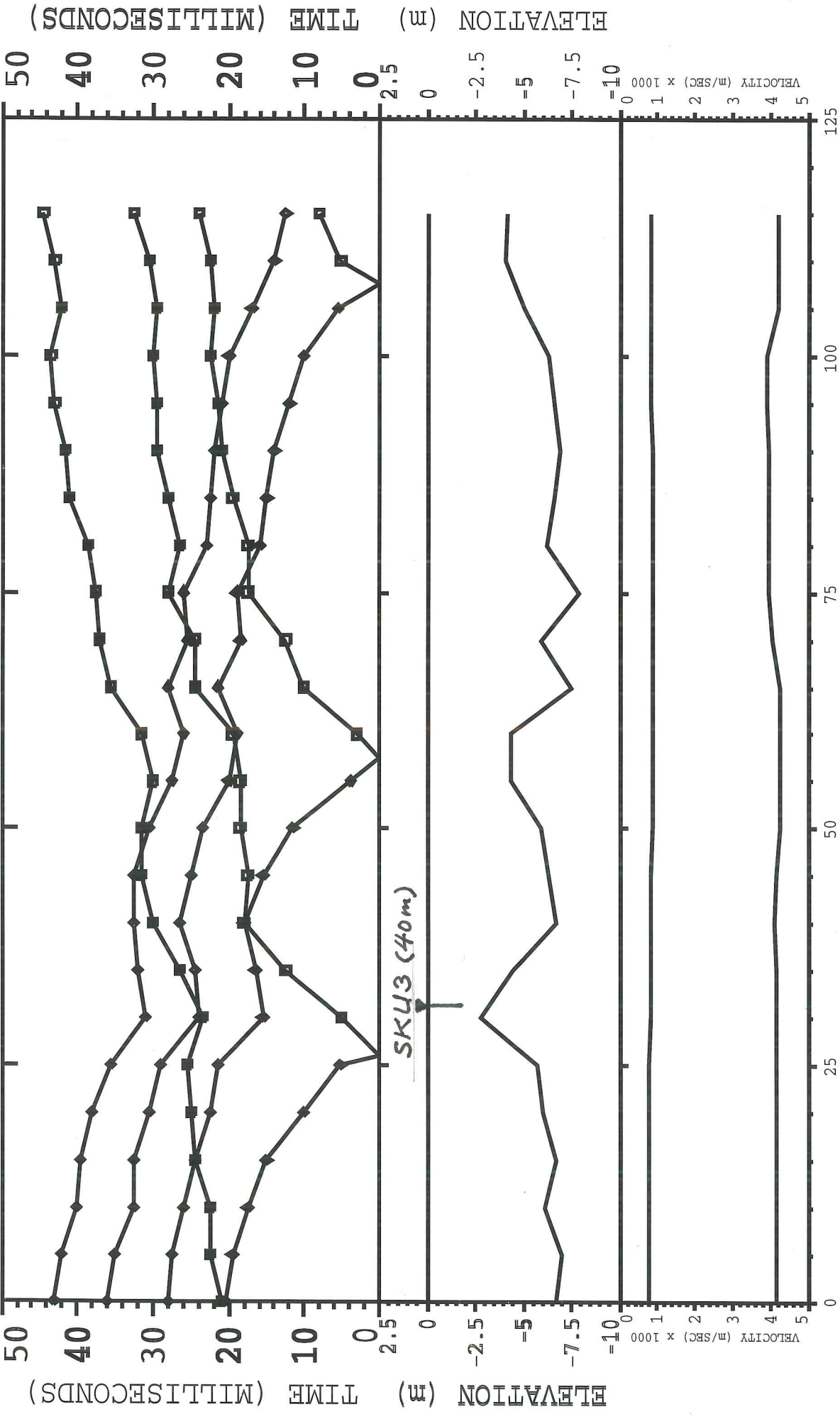
Mynd 9a

DISTANCE (m)

for: Vegagerdin  
 by: ORKUSTOFNUN  
 Data Set: SKU1 Date: 02.07.2001  
 Equipment: EGG 2401 Spread: 1

Skutudalur

Azimuth:



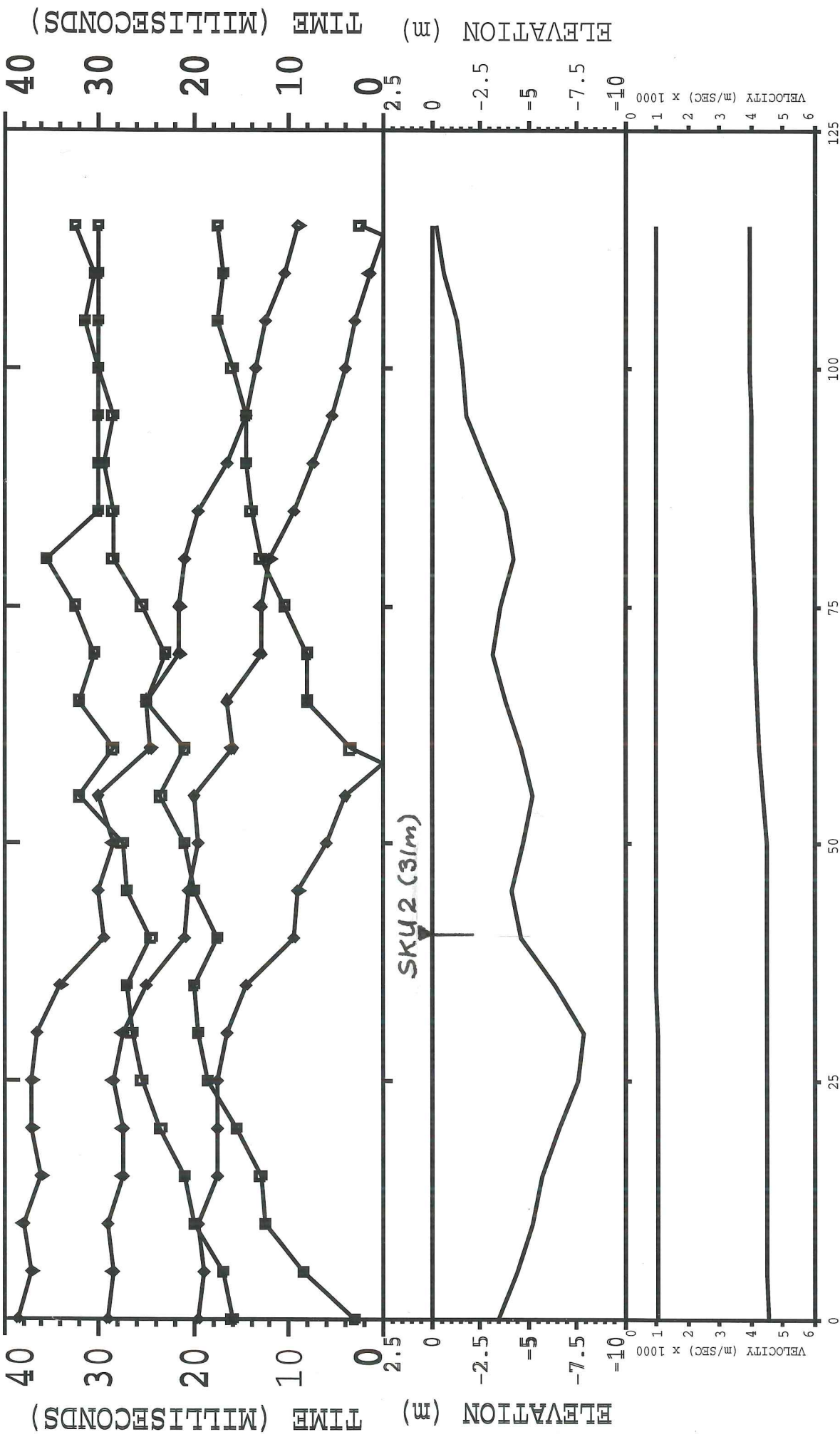
Mynd 9b

for: Vegagerdin	
by: ORKUSTOFNUN	
Data Set: SKU2	Date: 06.07.2001
Equipment: BEG 2401	Spread: 2

DISTANCE (m)

Skutudalur

Azimuth:



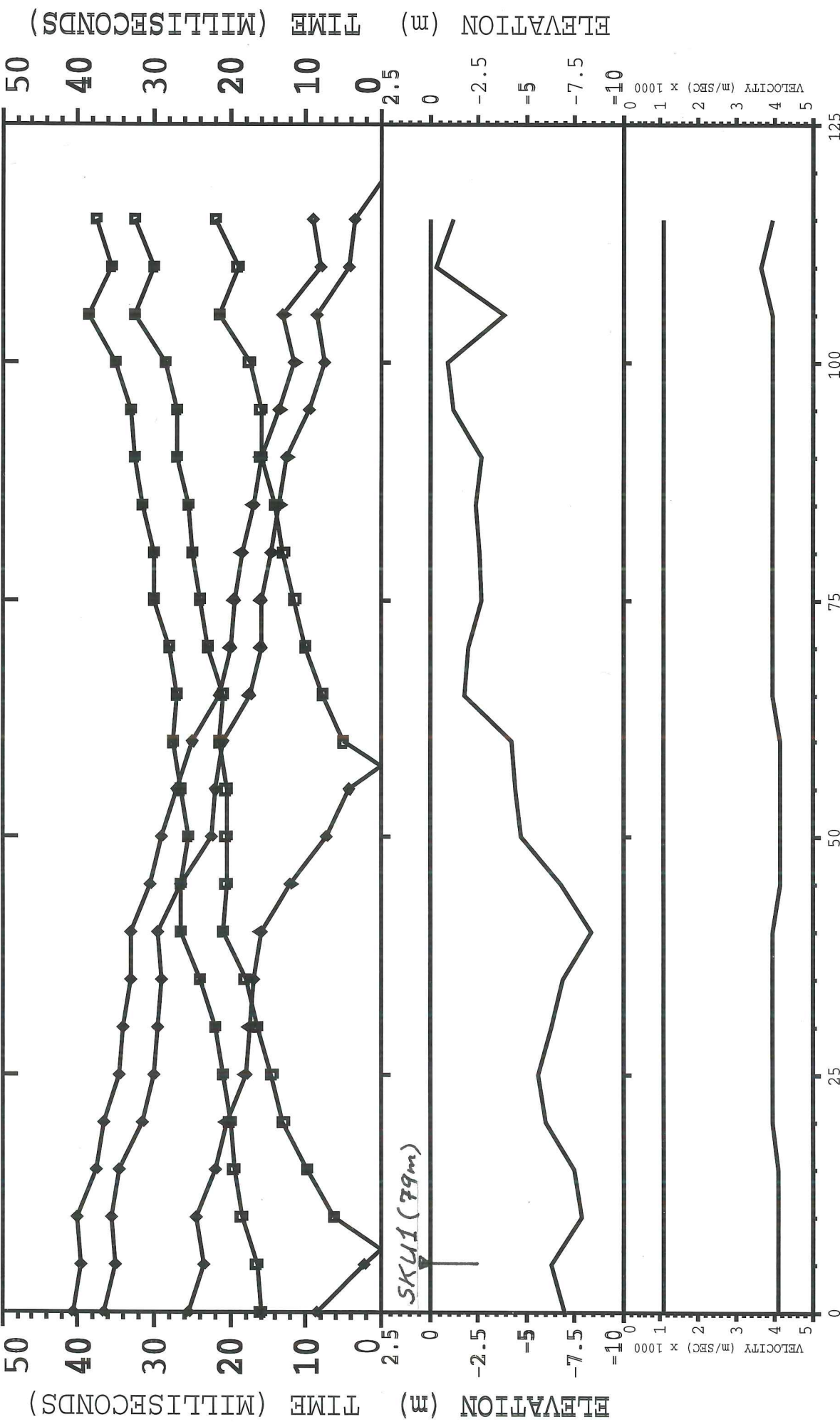
Mynd 9c

DISTANCE (m)

for: Vegagerdin  
 by: ORKUSTOFNUN  
 Data Set: SKU3 Date: 06.07.2001  
 Equipment: BGG 2401 Spread: 3

Skutudalur

Azimuth:



Mynd 9d

DISTANCE (m)

for: Vegagerdin  
 by: ORKUSTOFNUN  
 Data Set: SKU4 Date: 06.07.2001  
 Equipment: EGG 2401 Spread: 4

Skutudalur

Azimuth: